

PÁZSITFŰ MELLÉKHAJTÁSOK FITOLITKÉSZLETÉNEK EGYEDI VARIÁNCIÁJA A *POA PRATENSIS* L. (*POACEAE*) PÉLDÁJÁN

LISZTES-SZABÓ ZSUZSA^{1,*}, KOVÁCS SZILVIA¹,
BARNA CSILLA¹ és PETŐ ÁKOS²

¹ Debreceni Egyetem, AGTC, MÉK, Növénytudományi Intézet,
Mezőgazdasági Növénytani és Növényélettani Tanszék,
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.; szabozs@agr.unideb.hu,
szkovacs@agr.unideb.hu, barna.csilla88@gmail.com

² Magyar Nemzeti Múzeum, Nemzeti Örökségvédelmi Központ,
Alkalmazott Természettudományi Laboratórium,
1113 Budapest, Daróci út 3.; peto.akos@mmn-nok.gov.hu

Elfogadva: 2013. szeptember 27.

Kulcsszavak: biogén szilícium, epidermisz, fitolit, kovatest, pázsitfű, *Poa pratensis*

Összefoglalás: A réti perje (*Poa pratensis* L., Poaceae) mellékhajtások levéllemezőnek és levélhüvelyének fitolit-készletét vizsgáltuk és jellemeztük. A kovatestek (amelyeket fitolitoknak is nevezünk) meghatározó taxonómiai szereppel bírhatnak, továbbá a talajban, valamint az üledékekben való fennmaradásuk miatt felhasználhatóak környezettörténeti és régészeti növénytani vizsgálatokban is. Összesen 5 egyed 5–5 hajtásában 2244 növényi opálszemcsét számoltunk meg (500–600 db fitolit egyedenként). Összesen 27 morfortípust figyeltünk meg, amelyeket a nemzetközi standardoknak megfelelően az International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN 1.0) alapján azonosítottunk és neveztünk el. Két fitolit morfortípust újként írtunk le. A leggyakoribb fitolit morfortípusok a sima felületű és a hullámos felületű megnyúlt hosszú sejtek (elongate, psilate és sinuate), valamint a kerekded és a megnyúlt rövid sejtek (elongate és rounded rondel-trapeziform) voltak. Az egyedek között különbséget találtunk az egyes morfortípusok gyakoriságában. A leggyakoribb fitolitok legalább egy mérete (szélesség, hosszúság, magasság) szignifikánsan eltért az egyedek között, amely eredmény azt sugallja, hogy megbízható taxonómiai következtetések a fitolit készlet alapján csak az egyedi variancia feltárása után vonhatók le.

Bevezetés

Mintegy 500 fajával a perje genus (*Poa* L.) a legnagyobb a Poaceae családban (CLAYTON és RENVOIZE 1986). Takarmánynövények, gyepalkotó fajok és fajták, sőt, problémás inváziós gyomok is tartoznak a nemzetségbe (CLAYTON és RENVOIZE 1986). Bár elsősorban a mérsékelt övben találhatóak, a *Poa* az egyik legszélesebben elterjedt fű nemzetség (HARTLEY 1961). A *Poa* nemzetséget tekintve, a *Poa pratensis* L. fajcsoport taxonómiailag az egyik legbonyolultabb csoport (TUTIN et al. 1980). A levélepidermisz jellemzők, a szilifikált egysejtű szőrök, serték jelenléte és eloszlása korábban hasznos elkülönítő bélyegnek bizonyult *Poa* fajok azonosításakor (SZABÓ et al. 2006). Az elkovásodó szöveti képletek – elsősorban epidermális sejtek – taxonómiai felhasználására számos kísérlet történt korábban. Míg jó néhány egyéb növényfaj fitolitkészletének leíró jellegű feldolgozása létezik (HODSON et al. 1997, SANGSTER et al. 1997, ALBERT et al. 2011), kevés információ áll rendelkezésre a Kárpát-medence domináns pázsitfűjeinek fitolitkészletéről, ugyanakkor a fitolitok régészeti növénytani és környezettörténeti alkalmazása egyre nagyobb teret nyer a hazai kutatásokban is. A pázsitfűvek fitolitkészletéről kapott eredményeinkkel hozzájárul-

hatunk archaeobotanikai és paleoökológiai kutatásokban végzett vizsgálatok sikeréhez (MADELLA et al. 2012). A hazai fitolitkutatás korai szakaszában esettanulmányszerűen került alkalmazásra a módszer egy-egy nagyobb és komplex archaeobotanikai és/vagy paleoökológiai vizsgálat részeként (pl. GYULAI 1993, 1997; ENGEL DI MAURO 1995, WINDLAND 2007, MADELLA 2007, STARNINI et al. 2007). A fitolitelemzés régészeti geológiában és környezettörténeti kutatásokban történő szisztematikus alkalmazása a Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszékén (PERSAITS 2010; PERSAITS és SÜMEGI 2011), őskörnyezettani és paleotalajtani alkalmazása pedig a Szent István Egyetem Tájökológiai Tanszékén indult meg (BARCZI et al. 2006, 2009). A régészeti, valamint a környezet-történeti minták fitolitanyagának minél szélesebb körű és ökológiailag is megalapozott értelmezéséhez szisztematikusan felépített referencia adatbázisokra van szükség. A talajtani alapokra építkező, a hazai ökológiai irányú környezet- és tájtörténeti kutatásokban alkalmazható fitolitkataszter az ún. tipológiai osztályozási rendszerekhez sorolható (PETŐ 2011, 2013; PETŐ és BARCZI 2010a, b, 2011, 2012). Ugyanakkor – a környezettörténeti alkalmazások mellett – a régészeti növénytani kutatásokban elsősorban egy olyan taxonómiai alapú rendszer és összehasonlító adatbázis felhasználására van szükség, amely – a számos ismert módszertani nehézség ellenére – kísérletet tesz arra, hogy megteremtse a régészeti és környezettörténeti mintákból származó, és arra alkalmas fitolitok taxonómiai meghatározását. A növényi fitolit készletnek taxonómiai jelentősége lehet, a kalcium-oxalát kristályokhoz, keményítőhöz, tanninokhoz, és egyéb nem protoplazmatikus anyagcsere-termékekhez hasonlóan, amelyek növénycsaládok megkülönböztető jegyei lehetnek (GOLDBLATT et al. 1984, RUDALL 1994).

A szilícium a növények normál növekedésének egyik feltétele (AGARIE et al. 1996). A növények a talajból kovásv formájában veszik fel, amely a xilémen keresztül folytatja útját (BLACKMAN és PARRY 1968). A növényfajok egy része ezután zárványokban halmozza fel, amelyeknek jellegzetes struktúrája van. Ezek a kovatestek az erek fölött és között is megjelennek, valamint a virágzati ágak epidermiszében, vagy a szárákában, és a magvakban is, de kisebb mennyiségben.

A különböző környezeti feltételek okozhatnak fenotípusos plaszticitást a fitolitoknál, de a fitolitok formája és pozíciója a környezet által nem befolyásolt. Egyes kutatások szerint ugyanakkor a növényi opáltestek képződése genetikailag meghatározott folyamat, amely tekintélyes szisztematikai potenciállal rendelkezhet (PRYCHID et al. 2004). A szilícium akkumulációjának genetikai kontrollját az a tény látszik bizonyítani, amely szerint a nemesített búzák kalásza több mint 19% szilíciumot tartalmaz, míg a vad taxonoké átlagosan 9%-ot. Ez a különbség azt sugallja, hogy a szelekciós folyamat a nemesítés során kapcsolatosan a szilíciumtartalom növekedésével is együtt járhatott (PELEG et al. 2010), ugyanakkor ez nem feltétlenül vonja maga után a diagnosztikai értékkel bíró növényi opálszemcse-termelés növekedését. Némely esetben, növényi referencia anyagot vizsgálva, a kovatestek alakja elegendő lehet a helyes fajszintű elkülönítéshez (LINDSTROM et al. 2000). Ennek egyik példája, hogy MEJIA-SAULES és BISBY (2003) specifikus kovatesteket talált *Melica* fajok lemmájában. Ugyanakkor fontos kiemelni, hogy a legtöbb esetben szisztematikus morфомetriai adatbázisokra épülő elemzésekre van szükség a faj-, vagy nemzetségszintű meghatározásokhoz. Ahhoz, hogy a fitolitkészlet a taxonómia hasznos eszköze legyen, a fajra jellemző egyedi varianciát is ismernünk kell. A célkitűzést indokolja a fitolitok világában fennálló multiplicitás (sokszerűség) és redundancia jelensége is, amely sok esetben akadályozza, hogy szorosan megfeleltessük a

fajt a fitolitikészletével (ROVNER és RUSS 1992). Ugyanaz a morfortípus ugyanis ugyanazon növényegyed különböző szöveteiben is kialakulhat, illetve egy adott faj/taxon is képezhet számos különböző morfortípust. Továbbá a taxonómiaiilag különböző rokonsági fokon álló fajok is képezhetnek hasonló morfológiai jegyekkel bíró fitolitokat. Éppen ezért szükségszerű, hogy a különböző fajok fitolitkészletét és varianciáját megismerjük.

A jelen munka célja a *P. pratensis* mellékhajtások fitolitkészletének megismerése, és ugyanazon faj egyedi varianciájának feltárása.

Anyag és módszer

A réti perje példányok kiválasztása során arra törekedtünk, hogy minél nagyobb legyen a minták földrajzi távolsága. A vizsgálathoz használni kívánt öt egyed esetén ezt úgy tudtuk megoldani, hogy a példányokat kétféle forrásból válogattuk. A két *P. pratensis* példányt, amely a National Germplasm System of United States Department of Agriculture (USDA) *Poa* gyűjteményéből származott, magról neveltük klímazobában, azonos méretű tenyészedenyben, azonos talajon, és azonos körülmények között. Három példányt a Debreceni Egyetem Siroki-féle, oktatási-kutatási céllal elkülönített herbáriumából választottunk (1. táblázat).

1. táblázat

Table 1

A vizsgált *Poa pratensis* hajtások származása, (USDA: National Germplasm System of United States Department of Agriculture propagulum gyűjtemény, DE NI Herbárium: Debreceni Egyetem Növénytudományi Intézet Herbárium)

Inventory of *Poa pratensis* specimens examined.

(1) Specimen; (2) Locality of collecting; (3) State at collecting; (4) Accession; (5) Grain; (6) Herbarium specimen; (7) National Germplasm System of United States Department of Agriculture; (8) Herbarium of Institute of Crop Sciences, University of Debrecen, Hungary.

Példány (1)	Gyűjtési hely (2)	Állapot gyűjtéskor (3)	Katalógusszám (4)
1	Irán	szemtermés (5)	PI 227381 84i USDA (7)
2	Törökország	szemtermés	PI 206725 84i USDA
3	Magyarország	herbáriumi példány (6)	DE NI Herbárium 1 (8)
4	Csehország (Brno)	herbáriumi példány	DE NI Herbárium 2
5	Csehország (Olomouc)	herbáriumi példány	DE NI Herbárium 3

Valamennyi vizsgált példány mellékhajtásáról 5 levelet (levéllemez és levélhüvely) gyűjtöttünk, amelyeket példányonként felaprítottunk, majd összekevertünk, és átlagmintaként kezeltünk. A fitolitok feltárása és a biogén szilícium mennyiségének megállapítása száraz hamvasztásos (ún. dry-ashing) módszerrel (ALBERT és WEINER 2001) történt, MERCADER (2009, 2010) szerint módosítva. A hamut alaposan összekeverve tárgylemezre helyeztük, immerziós olajjal cseppentettük, fedőlemezrel takartuk, és Zeiss Axioskop 2+ típusú fénymikroszkópban 1000-szeres nagyításnál vizsgáltuk. Törekedtünk arra, hogy a fedőlemez teljes területét átvizsgáljuk.

Egyedenként 500-600 fitolitot vizsgáltunk és dokumentáltunk mikroszkópi fotók formájában. A morfológiai tipizálás részben TWISS et al. (1969) rendszerét követte, az egyedi morfortípusok elnevezése során az ICPN 1.0 (MADELLA et al. 2005) nevezéktani ajánlásait követtük (International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN). A besorolás során más szerzők rendszeréből is merítettünk (pl. BLINNIKOV 2005, BLINNIKOV et al. 2011, HONAINÉ és ÖSTERRIETH 2012, MERCADER et al. 2010, YOST és BLINNIKOV 2011, PIPERNO és PEARSALL 1998). Mivel a fitolit nevezéktan angol nyelven született, ezért az összevethetőség kedvéért jelen dolgozatban is így használjuk.

A leggyakrabban előforduló morfortípusokon belüli további alaktani típusokat a kovatest felületi mintázata (ornamentikája) alapján különítettük el (vö. ICPN 1.0 ajánlásai). A fitolitok gyakoriságát szemléltető ábra, az ökológiai adatok feldolgozására és szemléltetésére kifejlesztett C2 szoftverrel (JUGGINS 2007) készült.

Az alaki jellemzők mellett a fitolitok jellemző kvantitatív paramétereit is megadtuk. Valamennyi fitolitot az ImageJ 1.32j szoftverrel (ABRAMOFF et al. 2004) mértük. A fitolit alakjától függően meghatározásra kerültek a hosszúsági és szélességi értékek. Négy fitolit típus esetén (elongate-, keeled-, rounded- és pyramidal rondelek) a magassági adatok is egyértelműen mérhetők voltak. A magassági érték ebben az esetben megegyezik az epidermisz vastagságával. Az adatok statisztikai értékelése során a minimum és maximum értékek mellett, centrális mutatóként a számtani átlagot, és a szórást számoltuk. Az egyedek közti szignifikáns különbségek kimutatására, a két leggyakoribb morfortípus szélességi, hosszúsági és magassági adatait egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) hasonlítottuk össze (SigmaPlot 11.0 szoftver) (Systat Software, San Jose, CA).

Eredmények

A Poa pratensis mellékhajtások fitolitkészletének jellemzése

A *P. pratensis* hajtásaiból nyert hamu többféle szilíciumformát tartalmaz: kovatesteket, elková sodott falú sejteket, eltérő mértékben korrodált kovásodott sejteket, sejtörmeléklet és epidermisz szövetdarabokat. A vizsgált mellékhajtások szárazanyag tömegének átlagos szilíciumtartalma 2,61% (0,86%–6,92%; std = 2,48). A minták biogén szilícium-tartalma az 1. táblázatban foglalt számozás sorrendjében: (1) 1,84% (2) 6,92% (3) 0,86% (4) 1,06% (5) 2,37%. A törökországi példány (2-es példány) szilícium tartalma mintegy kétszerese az átlagos szilíciumtartalomnak.

Példányonként 500–600 db mikroszkópi fotó készült, melyeken 2244 db fitolitot számoltunk meg. A fitolitok közel felét (1001 db) tudtuk egyértelműen tipizálni és besorolni (149–257 db/példány), 1154 db-ot nem lehet egzakt módon kategorizálni (150–431 db/példány).

Jelen munkában 27 db olyan karakterizálható morfortípust írtunk le, amelyek alkalmasak lehetnek taxonómiai elkülönítésre. Két, morfológiai szempontból új típust azonosítottunk, az ICPN 1.0 nevezéktani szabályait figyelembe véve (2. táblázat).

2. táblázat
Table 2

Az öt *Poa pratensis* egyed hajtásainak fitolit morfortípus eloszlása

% = frekvencia az 5 egyed összes osztályozható morfortípusainak százalékában

Distribution of phytolith morphotypes in the examined shoots of *Poa pratensis* specimen.

(1) Number of the morphotype (N); (2) First descriptor; (3) Second descriptor; (4) Reference for the descriptors; (5) Presence in specimen; (6) Ubiquity: presence of morphotypes in specimen; (7) Total (n); (8) Frequency (%) in the classified phytolith assemblage of the 5 specimens.

Sorszám (1)	Első alaki jellemző (2)	Második alaki jellemző (3)	Forrás (4)	Jelenlét egyedekben (5)	Ubikvitás (6)	Összes darabszám (7)	% (8)
	Elongate		ICPN	12345	5	587	58,6
1	Elongate	psilate	ICPN	12345	5	298	29,8
2	Elongate	unclassified	jelen munka	12345	5	146	14,6
3	Elongate	sinuate	ICPN	12345	5	108	10,7

Sor- szám (1)	Első alaki jellemző (2)	Második alaki jellemző (3)	Forrás (4)	Jelenlét egyedek- ben (5)	Ubik- vitás (6)	Összes darab- szám (7)	% (8)
4	Elongate	echinate	ICPN	1345	4	13	1,3
5	Elongate	verrucate	ICPN	145	3	4	0,4
6	Elongate	castellate	ICPN	5	1	2	0,2
7	Elongate	crenate	ICPN	35	2	2	0,2
8	Elongate	lacunose	ICPN	4	1	2	0,2
9	Elongate	pilate	ICPN	5	1	2	0,2
10	Elongate	corniculate	ICPN	3	1	2	0,2
11	Elongate lobate	psilate	ICPN	4	1	1	0,1
12	Elongate depressed	psilate	jelen munka	123	3	7	0,7
	Rondel- trapeziform		ICPN	12345	5	277	27,7
13	Rondel- trapeziform	elongated	Blinnikov 2005	12345	5	120	12,0
14	Rondel- trapeziform	keeled	módosítva: Blinnikov 2005	1234	4	34	3,4
15	Rondel- trapeziform	rounded	ICPN	12345	5	69	6,9
16	Rondel- trapeziform	pyramidal	Blinnikov 2005	12345	5	33	3,3
17	Rondel- trapeziform	horned	Blinnikov 2005	1345	4	20	2,0
18	Rondel- trapeziform	reniform	ICPN	1	1	1	0,1
19	Tabular	psilate	ICPN	12345	5	50	5,0
20	Lanceolate trichome	psilate	ICPN	12345	5	23	2,3
21	Papilla	psilate	ICPN	12345	5	19	1,9
22	Bulliform	psilate	ICPN	12345	5	24	2,4
23	Trigonal pyramid	psilate	jelen munka	1235	4	7	0,7
24	Scutiform	psilate	ICPN	45	2	4	0,5
25	Cubic	psilate	ICPN	23	2	3	0,3
26	Globular	psilate	ICPN	15	2	3	0,3
27	Stellate	lamine	ICPN	145	3	4	0,3
	Classified					1001	49,6
	Corroded			12345	5	89	7,8
	Unclassified			12345	5	1154	50,4

A 2. táblázat és a 3–4. ábra összegzi a *P. pratensis* egyedek fitolitkészletét. A morфомetriai jellemzőket a 3. táblázat tartalmazza. A réti perje fitolitok morfotípusai a következők:

Elongate: megnyúlt, hosszabb, mint széles forma (ICPN 1.0), amely többnyire zárványt tartalmaz (1. ábra 6–15. kép). A vizsgált egyedekben a leggyakrabban előforduló morfotípus (58,6%), amely egy kovásodott sejtfalakkal rendelkező epidermális hosszú sejtnak felel meg. Változatos alak, hosszúság és vastagság jellemzi. A hosszú sejtek végei lehetnek: konkávok, konvexek, aszimmetrikusak, hegyesek, tompák vagy egyenesek. Az elongate morfotípus aránya az egyedekben tág határok között mozog (44,1%–76,6%). A kevésbé tipikus, de megnyúlt sejteket tanulmányunkban az ún. „nem besorolható megnyúlt” kategóriába gyűjtöttük. E kategória tagjai nem rendelkeznek jól leírható és ismétlődő geometriai formával és felületi mintázattal, ugyanakkor gyakoriságuk a teljes fitolitkészleten belül 14,6% (9,6%–40,4%) és valamennyi *P. pratensis* példányban jelen voltak.

Elongate, psilate: (ICPN 1.0): megnyúlt, jellemző mintázat és szerkezet nélküli formák, arányuk 29,8%, valamennyi egyedben jelen vannak (1. ábra 11–13. kép). Az elongate morfotípuson belül részesedésük 25,8% és 72,0% között ingadozik. Többnyire az érfőlötti zónában fordulnak elő az epidermiszben, kerekded vagy hosszúkás rondel típusokkal váltakozva.

Elongate, sinuate: megnyúlt, szabálytalanul váltakozó konkáv és konvex szegéllyel rendelkező morfotípus (ICPN 1.0), amely három dimenzióban (3D) gyakran trapézszerű (1. ábra 8. kép). Leggyakrabban az erek közti epidermisz régiókban fordul elő. Arányuk a nyújtott formákon belül 10,7% (6,4%–32,3%).

Elongate, echinate: megnyúlt, tüskés mintázatú forma (ICPN 1.0). Az elongate morfotípuson belüli gyakorisága 1,3% (1,1%–9,0%), a vizsgált példányok közül háromban azonosítottuk.

Elongate, verrucate: megnyúlt szabálytalan forma, szemölcszerű kitüremkedésekkel (ICPN 1.0) (1. ábra 15. kép). Gyakorisága 0,4%, az elongate típuson belül 0,9%–2,2%. Három egyednél azonosítottuk.

Elongate, castelate: megnyúlt, négyzetes rövid nyúlványokkal mintázott morfotípus (ICPN 1.0). Kis gyakoriságú (0,2%) morfotípus, amely csak az 5. példánynál volt jelen. Az elongate típuson belüli gyakorisága 2,2%.

Elongate, crenate: megnyúlt, rovátkolt vagy csipkézett felületű, a fogak lekerekítettek (ICPN 1.0). Az alaktani típus gyakorisága 0,2% (az elongate típuson belül 1,0%–1,1%), két példányban találtuk meg.

Elongate, lacunose: megnyúlt, sekély gödrökkel mintázott morfotípus (ICPN 1.0). Gyakorisága 0,2% (az elongate morfotípusokon belül 2,2%) melyet csupán egyetlen példánynál találtunk meg (4. példány, Brno).

Elongate, pilate: nyújtott, pálcaszerű kitüremkedéssel rendelkező morfotípus, homorú oldalakkal (ICPN 1.0). Alacsony gyakoriságú (0,2%) opálszemcse, amelyet csak az 5. példánynál figyeltünk meg.

Elongate, corniculate: megnyúlt, szarvszerű kiszögeléssel rendelkező morfotípus (ICPN 1.0). Gyakorisága 0,2% (az elongate típuson belül 0,9%–1,0%), egyetlen példánynál azonosítottuk (3. példány, Magyarország).

Elongate, lobate: megnyúlt, lebenyes típus (ICPN 1.0) (1. ábra 6. kép), két vagy három lebennyel. Előfordulási gyakorisága 0,1% , csupán egy egyedben figyeltünk meg.

Elongate, depressed, contorted és psilate: megnyúlt, keskeny és lapos, zárvány nélküli morfotípus, amely valószínűleg epidermisz eredetű (1. ábra 1–3. kép). Gyakorisága 0,7%

(az elongate morfortípuson belül 0,5%–4,3%) és három *P. pratensis* egyedben figyeltük meg. A hozzáférhető források nem tesznek említést erről a típusról.

Lanceolate trichom, prickle: Általában hajlott, egysejtű szőr (serte) (ICPN 1.0) (1. ábra 16–17. kép). Csak néhány trichom morfortípusú fitolitot figyeltünk meg. A serték csúcsának szilíciumtartalma magasabb, így maradandóbbak is, mint az alapjuk, így nagyobb gyakorisággal talákoztunk sertecsúcs-töredékekkel, mint egész sertékekkel. A gyakoriság 2,3% (0,9%–2,9%) és minden egyedben előfordult.

Bulliform: Mindössze néhány „cuneiform” bulliform (ékalakú) és „paralelepipedal” bulliform sejtet figyeltünk meg (ICPN 1.0). Utóbbi típus (1. ábra 20–21. kép) „blocky” elnevezéssel is előfordul az irodalomban (BLINNIKOV 2005). Zárványokat sohasem tartalmaz. A vékony sejtfalának köszönhetően ezek a sejtek nem olyan ellenállóak, mint a többi epidermisz sejt, így az izzítási eljárás alatt korrodálódhatnak. A gyakoriságuk 2,4% (0,5%–3,9%) és a minden példányban megtaláltuk.

Trigonal pyramid: Oldalnézetben és alulnézetben háromszögletű, csúccsal rendelkező alakok (1. ábra 18–19. kép). A gyakoriság 0,7% (0,3%–2,0%), 4 egyedben találtuk meg.

Scutiform: pajzs forma (ICPN 1.0). Gyakorisága 0,5% (0,5%–0,5%), 2 példányban fordult elő.

Cubic: köbös; hat, közel egyenlő oldallal rendelkező forma (ICPN 1.0) zárvánnyal vagy zárvány nélkül. A *P. pratensis* hajtásokban ritka morfortípus, anatómiailag rövid sejt. A forma gyakorisága 0,3%, (0,2%–0,4%), melyet 2 példánynál figyeltünk meg.

Globular: gömbös forma (ICPN 1.0) gyakran perforációval. A gyakoriság 0,3% (0,5%–0,8%), két egyedben figyeltük meg.

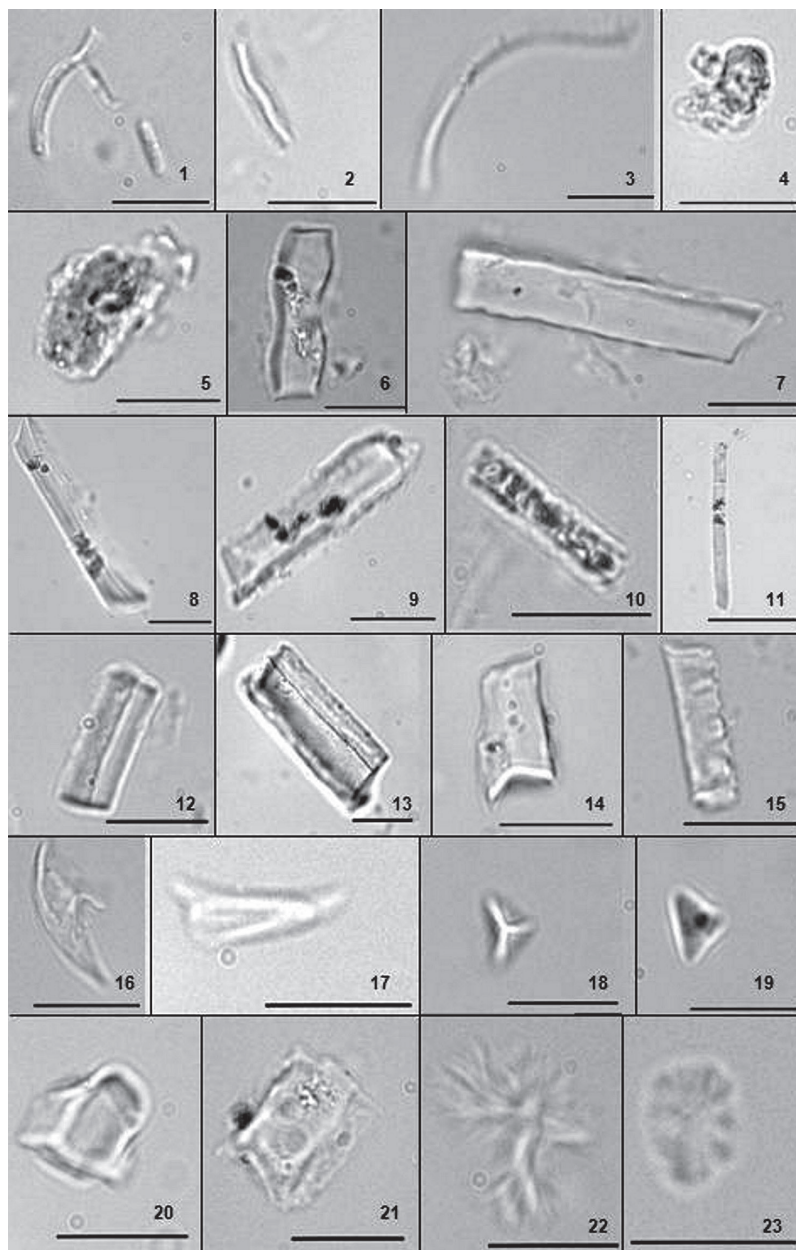
Stellate: csillag forma (ICPN 1.0) lemezes felülettel (1. ábra 22–23. kép), amelyek valószínűleg a sejt közötti tér vagy a papillák kovásodott lemezei. A típus gyakorisága 0,3% (0,2%–0,4%), melyet 3 példányban azonosítottunk.

Corroded: Roncsolódott kovatestek, kovásodott sejtfalak és sejttöredékek. Valószínűleg a feltárás során alkalmazott savas kezelés hatására alakultak ki, azonban az eredeti sejt struktúrát gyakran fel lehet ismerni (1. ábra 4–5. kép). Gyakorisága az egyedek fitolitkészletében 7,1% (0,2%–7,4%) és valamennyi egyedben azonosíthatók voltak.

Rondel-trapeziform: Azoknak a morfortípusoknak a gyűjtőcsoportja, amelybe a fitolit nevezéktanban rögzült (nomina conservanda) „rondel” alakok és az oldalnézetből trapéz formájú „trapeziform short cell” alakok tartoznak (ICPN 1.0). Származásukat tekintve epidermisz rövid sejtek, esetenként zárványok is megfigyelhetők bennük. Oldalnézetből trapéz, csonka piramis, vagy piramis alakúak lehetnek, és az ezek közötti átmenetek is jellemzőek. Oldalnézetük konkáv vagy egyenes vonalakkal határolt (2. ábra 24. kép, 27–46. kép). Szögletes, megnyúlt (maximum 2× hosszabb, mint széles), ovális, kerekded formák, és az ezek közötti átmenetek felülnézetből és alulnézetből. Megfigyeléseink szerint a réti perje érfölötti zónájának sejtsorai gazdagabbak ezekben a formákban, mint az érközötti zónák. A morfortípus gyakorisága 27,7% (9,3%–46,1%) és mind az öt egyedben megfigyeltük.

Rondel-trapeziform, elongate: oldalnézetből trapéz alak, maximum 2× hosszabb, mint széles, megnyúlt. Hasonló formákat írt le BLINNIKOV (2005) (2. ábra 24. kép). A leggyakoribb rövid sejt, 12,0% gyakorisággal (a rondel-trapeziform típuson belül 33,3%–51%), és mind az öt egyedben megfigyeltük.

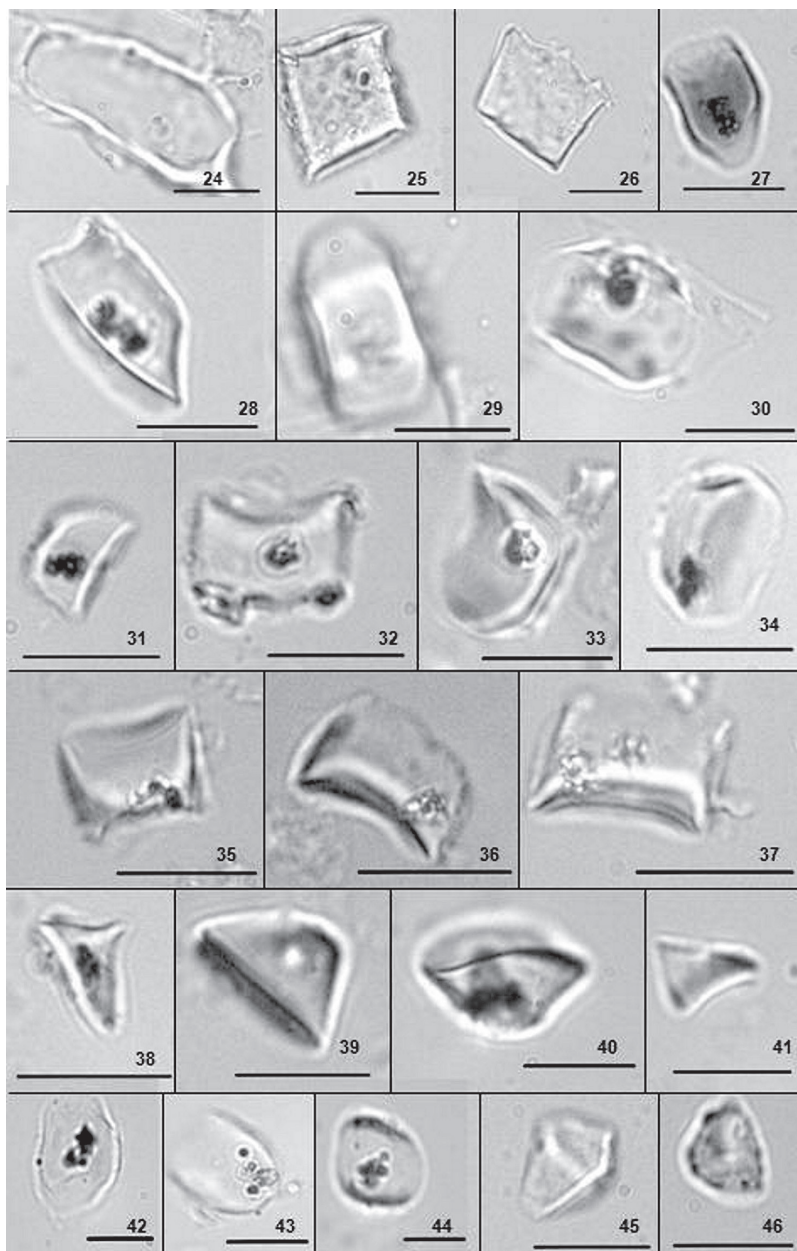
Rondel-trapeziform, keeled: rövid sejt, melynek felülnézeti felülete nincsen, prizma alak három négyszögletes és két háromszögletű oldallal (BLINNIKOV 2005 módosított



1. ábra. *Poa pratensis* mellékhatásokra jellemző fitolitok mikroszkópos felvételei
A vonal hossza 10 µm. Morfortípusok: 1-3 elongate depressed, contorted; 4-5 korrodált rövid sejtek;
6 elongate bilobate; 7-15 elongate típusok különböző véggel és mintázattal; 16-17 prickle;
18-19 trigonal pyramid psilate; 20-21 cubic; 22-23 stellate laminate

Figure 1. *Poa pratensis* leaf phytolith micrographs.

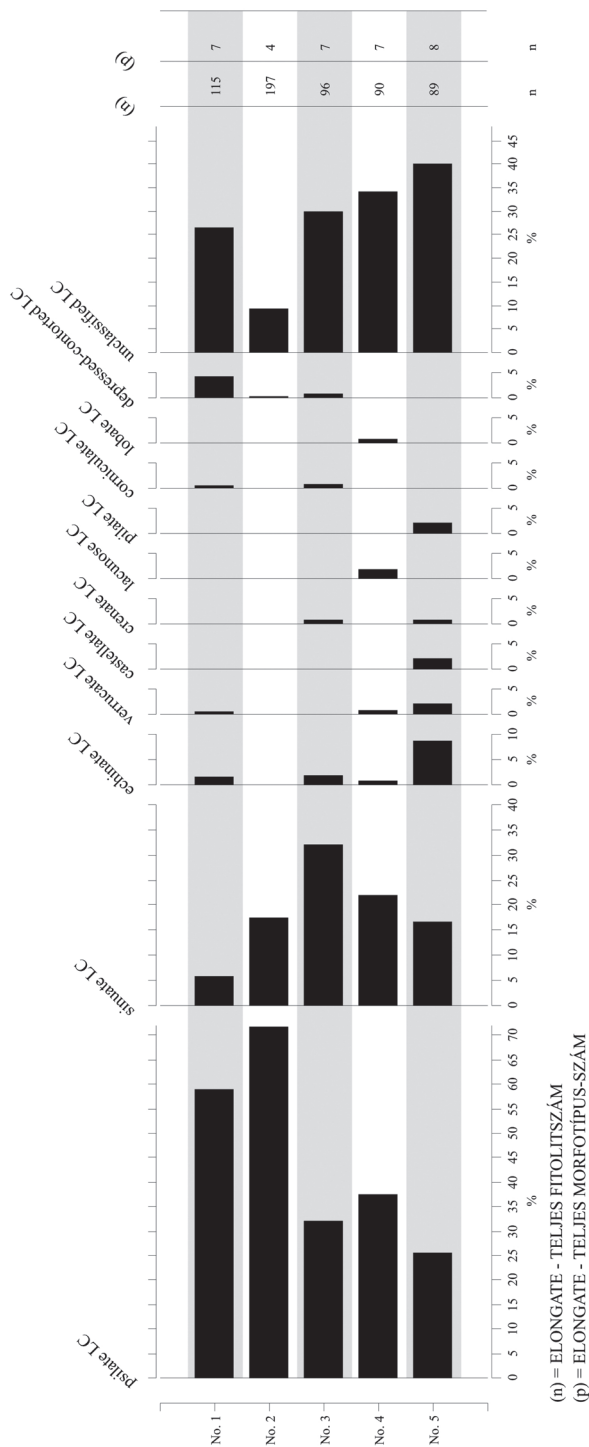
Scale bar = 10 µm. 1-3 elongate depressed, contorted; 4-5 corroded short cells; 6 elongate bilobate;
7-15 elongate forms with different termination and ornament; 16-17 prickles;
18-19 trigonal pyramid psilate; 20-21 cubic; 22-23 stellate laminate.



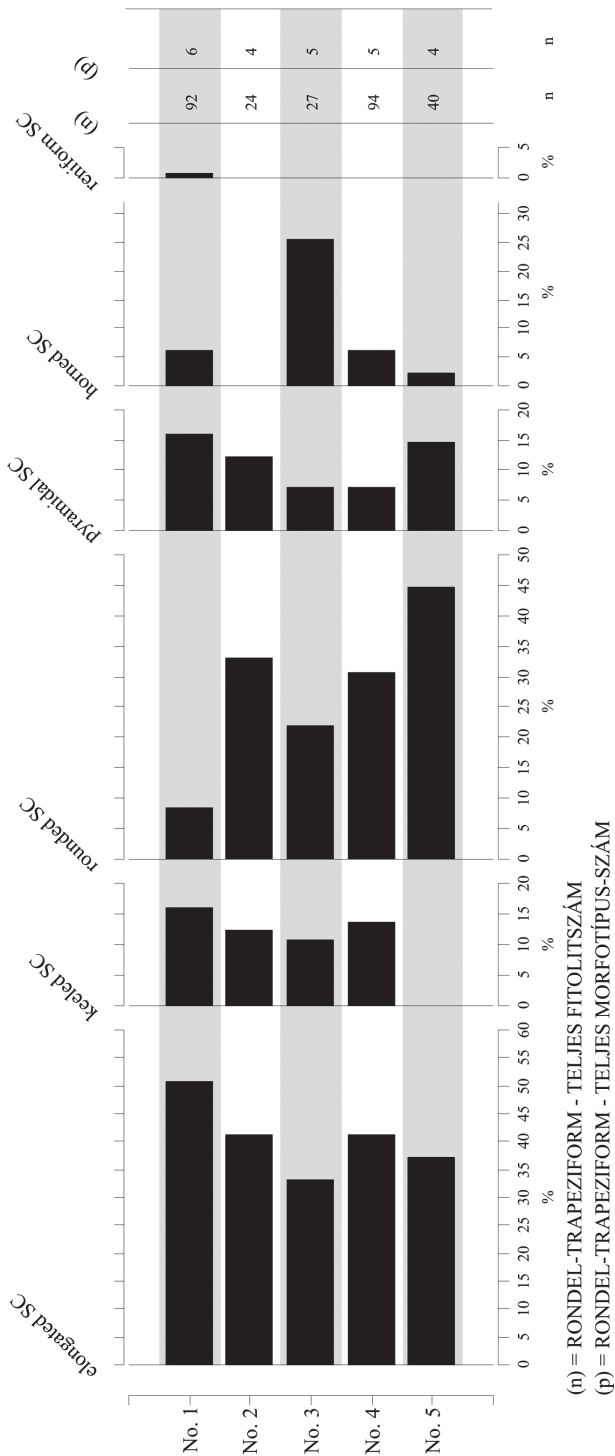
2. ábra. *Poa pratensis* mellékajtásokra jellemző fitolitok mikroszkópos felvételei
A vonal hossza 10 µm. Morfortípusok: 24 rondel-trapeziform elongated; 25-26 tabular psilate;
27-44 rondel-trapeziform típusok különböző mintázattal; 45-46 papilla

Figure 2. *Poa pratensis* leaf phytolith micrographs.

Scale bar = 10 µm. 24 rondel-trapeziform elongated; 25-26 tabular psilate;
27-44 rondel-trapeziform forms with different ornament; 45-46 papilla.



3. ábra. Fitolit hosszú sejt (LC) morfológusok eloszlása a *Poa pratensis* mellékajásokban
Figure 3. Phytolith long cell (LC) morphotype distribution in *Poa pratensis* lateral shoots.



4. ábra. Fitolit rövid sejt (SC) morfortípusok eloszlása a *Poa pratensis* mellékhajásokban
Figure 4. Phytolith (SC) morphotype distribution in *Poa pratensis* lateral shoots.

leírása) (2. ábra 35–37. kép). A gyakoriság 3,4% (a rondel-trapeziform típuson belül 11,1%–16,3%), 4 egyedben figyeltük meg.

Rondel-trapeziform, rounded: rondel típus, alsó és felső felülete kerekded, (ICPN 1.0 – nomina conservanda) 6,9% gyakorisággal (a rondel-trapeziform morfortípuson belül 8,7%–45,0%); minden egyedben megfigyeltük (2. ábra 44. kép).

Rondel-trapeziform, pyramidal: négyszögű alappal, csúcsban végződő (ICPN 1.0; BLINNIKOV 2005) (2. ábra 38–41. kép). Némelyik hosszában lapított (2. ábra 39. kép) A gyakoriság 3,3% (a rondel-trapeziform morfortípuson belül 7,4%–16,3%) és minden vizsgált példányban megfigyelhető volt.

Rondel-trapeziform, horned: oldalnézetben trapéz alakú, ovális vagy vese alakú felülnézetből, szarvszerű nyúlványokkal (BLINNIKOV 2005) (2. ábra 32. kép). A gyakoriság 2,0% (a rondel-trapeziform morfortípuson belül 2,5%–25,9%) és 4 vizsgált egyedben találtuk meg.

Rondel-trapeziform, reniform: felülnézetből vese alakú rondel forma (ICPN 1.0). A gyakoriság mindössze 0,1% (a rondel-trapeziform morfortípuson belül 1.0); 1 egyedben találtuk meg (1. példány, Irán).

Tabular: négyzetes, lapos rövid sejt (ICPN 1.0) zárvánnyal vagy anélkül (2. ábra 25–26. kép). A különböző méretűek eredete feltételezhetően különbözik. A gyakoriság 5,0% (2,3%–6,0%) és 5 egyedben találtuk meg.

Papilla: Alacsony kúp, vagy piramis alakú formák, mindig zárvány nélküliek, az epidermisz papilla sejtjei (ICPN 1.0 – nomina conservanda) (2. ábra 45–46. kép). A morfortípus gyakorisága 1,9% (0,5%–3,9%) és 5 egyedben találtuk meg.

Unclassified: Olyan fitolitok tartoznak ide, amelyeket nem lehet egyértelműen morfortípusba sorolni, valamint fitolit-fragmentumok és kovásodott sejtfa töredékek. A be nem sorolható morfortípusok gyakorisága magas, (50,4%; 36,0%–70,6%) jelenlétük valamennyi egyedben általános.

A két leggyakoribb morfortípus az elongate és a rondel-trapeziform. Az elongate morfortípus aránya 44,1%–76,6% között változik, amely nagy fajon belüli egyedi variabilitásnak tekinthető. A leggyakoribb elongate morfortípus a psilate, sinuate és az “unclassified”. Eredményeink szerint a rondel-trapeziform morfortípus gyakorisága szélesen változik az egyedek között, 9,3%–46,1%. Az öt egyedből négyben a megnyúlt és a kerekded morfortípusok a leggyakoribbak. A pyramidal és keeled morfortípus szintén a leggyakoribb három morfortípus közé tartozik.

Az öt tanulmányozott *P. pratensis* egyed mellékhajtásainak fitolitikészletét jellemzi a 3–4. ábra. Az egyes morfortípusok gyakorisága számottevő különbséget mutat az egyedek között.

Számos esetben, főként a hosszú sejtekben, kisméretű (1–3 μm), négyzetes tabular kristályokat figyeltünk meg, amelyeket más esetekben a hamuban szabadon is megtaláltunk. Kérdéses, hogy ezek a fitolit ultrastruktúráját képező részek, vagy a protokoll során keletkező melléktermékek-e?

A morfometriai vizsgálatok eredményei

A vizsgált morfortípusok morfometriai jellemzőit a 3. táblázatban tüntettük fel. A megnyúlt hosszú sejtek átlagos hossza 19,8–45,4 μm közötti, az átlagos szélesség 1,9–13,3 μm közötti az egyes példányoknál. A rondel morfortípus átlagos hossza 4,9–13,0 μm és az

átlagos szélesség 5,0–9,3 μm . A tabular típusok hossza és szélessége, valamint a stellate típus mért adatai hasonlóak a rondelék méreteihez. A trichómák legszélesebb alapja 11,9 μm , de legtöbbször töröttek a hamuban, ezért a hosszuk nem mérhető. A papillák átlagos szélessége 4,1 μm . Várhatóan a bulliform sejtek nagyobbak, mint a rövid sejtek, átlagos hosszuk 14,7–17,0 μm , átlagos szélességük 10,3–11,5 μm . A legkisebb fitolitok a trigonal pyramid (trigonális piramis) (3,1–3,3 μm) és a cubic (3,5 μm) morfortípusok voltak.

A jelen vizsgálatok azt mutatják, hogy különböző fitolit morfortípus méretek szignifikánsan különbözhetnek az egyedek között. A leggyakoribb morfortípusokat statisztikailag vizsgálva, az elongate unclassified és az elongate sinuate morfortípusok szélessége és hosszúsága különbözik szignifikánsan a *P. pratensis* egyedek között. Az elongate psilate sejtek szélességben különböznek, míg a hosszúságuk nem variál szignifikánsan (3. táblázat). A rondel-trapeziform elongate, keeled, rounded és horned morfortípusok szélessége egymástól szignifikánsan eltér az egyedek között, de hosszúságuk és magasságuk zömében nem, kivéve az elongate típust. Szignifikáns méretbeli különbségeket nem találtunk a rondel-trapeziform pyramid fitolitoknál.

Megvitatás

A C_3 -as réti perje vizsgált mellékhatásainak biogén szilícium tartalma 2,61%. Ez átlag alattinak tekinthető MERCADER et al. (2010) 26 vizsgált *Poaceae* fajának adataival összevetve. Utóbbi szerző azt találta, hogy az átlagos biogén szilícium mennyiség (0,66%–23,3%) széles határok között mozog a pázsítfű fajok között is a mintavételi területükön (Mozambique). A legmagasabb biogén szilícium tartalommal a C_3 -as fűvek rendelkeztek MERCADER et al. (2010) teljes növényekre vonatkozó vizsgálatában.

A 2. egyed (USDA – 1. táblázat) kimagaslóan magas biogén szilícium tartalmú, amely a hosszú sejtekben raktározódik. Az elkovásodott hosszú sejtek aránya ebben a példányban igen magas. A 2. egyed (USDA – 1. táblázat) propagulumai az 1. számú egyedével teljesen azonos feltételek között voltak kezelve, így a különbség adódhat a két egyed genetikai háttérének különbségéből is. A második, tanulmányozandó magyarázat, hogy bár a megmintázott mellékhatások pozíciója azonos volt, nem zárható ki, hogy a szövetek kora, és így a felhalmozott kova mennyisége különböző a mintázott részekben.

Három fontos szempont szerint lehetséges és szükséges jellemezni a növényfajok fitolitkészletét: a fitolit morfortípusok jelenléte és aránya, a fitolit morfortípusok gyakorisága és azok morfometriai jellemzői.

Az első és a második szempontot tekintve a *P. pratensis* levélhüvelyek és levéllemezek a szilíciumot az epidermisz sejtjeikben akumulálják, pontosabban a hosszú és a rövid sejtekben, ahogy ez általánosságban jellemző a *Poales* rendre (METCALF 1960; PRYCHID et al. 2004).

A méretbeli és a mintázatbeli jellemzőknek köszönhetően számos formája van a rövid és hosszú sejtekből származó fitolit morfortípusoknak.

BLINNIKOV et al. (2013) főként rondel és plate morfortípusokat talált réti perje kísérleti parcellából származó mintáiban (Cedar Creek, Minnesota). A hosszú, hullámos falú sejtek aránya vizsgálataink szerint 29,8%, MORRIS et al. (2009) csupán 16% -ot talált. Hasonlóan magas arányú hosszú sejteket talált MORRIS et al. (2009) *P. secunda* hajtásokban, és

3. táblázat
Table 3

A *Poa pratensis* hajtások fitolitkészletének morfometriai adatai és leíró statisztikája Rt: rondel-trapeziform, B: bulliform, (Az egyedi morfotípus neveket a második descriptor szó nélkül szerepeltetjük.) * szignifikáns különbségek az egyedek között, # nem szignifikáns ($\alpha=0,05$)

The number of measured *Poa pratensis* shoot phytoliths and descriptive statistics of the morphometric data, Rt: rondel-trapeziform, B: bulliform, (Individual type names are without second descriptors,)

* significant differences among specimens, # non-significant difference among specimens ($\alpha=0,05$),

(1) Morphotypes; (2) Number of measured phytoliths; (3) Width Mean; (4) Length Mean; (5) Height Mean

Morfotípus (1)	A mért fitolitok száma (2)					Átlag szélesség (3)	SD	Min	Max	Átlag hosszúság (4)	SD	Min	Max	Átlag magasság (5)	SD	Min	Max
E psilate	68	70	31	34	23	* 5,1	2,9	0,8	17,5	# 25,1	10,9	7,3	56,1				
E unclassified	31	19	29	31	36	* 6,8	4,1	1,6	18,5	* 20,7	10,7	5,6	47,3				
E sinuate	7	35	31	20	15	* 6,6	2,6	1,4	13,6	* 31,3	10,5	11,3	53,2				
E echinate	2		2	1	8	10,8	3,5	6,3	18,1	31,0	15,9	14,6	46,3				
E verrucate	1			1	2	9,0	4,2	4,0	12,7	35,3	20,3	13,8	55,1				
E castelate					2	8,3	0,6	7,9	8,7	30,2	18,3	17,2	43,2				
E crenate			1		1	13,3	0,1	13,3	13,4								
E lacunose				2		9,5	0,2	9,4	9,6	42,9	5,7	38,9	46,9				
E pilate					2	6,5	0,1	6,4	6,5								
E corniculate	1		1			8,0				45,4							
E lobate					1	7,2				20,2							
E depressed	5	1	1			1,9	0,6	1,4	3,3	19,8	10,4	10,6	35,6				
Rt elongated	47	10	9	39	15	* 5,0	2,4	1,0	11,3	# 13,0	3,5	3,2	20,5	* 3,5	1,6	0,8	8,1
Rt keeled	13	3	3	13		* 7,2	3,3	2,2	15,2	# 10,2	2,9	4,9	15,6	# 3,8	1,4	1,9	6,9
Rt rounded	5	8	6	29	18	* 9,3	2,5	5,0	18,2	4,9	2,2	3,2	8,7	# 4,0	1,5	1,4	8,5
Rt pyramidal	15	3	2	7	6	# 7,8	3,7	3,1	16,7					# 4,7	2,0	1,0	9,0
Rt horned	6		7	6	1	* 8,5	2,6	4,0	13,1								

3, táblázat folytatása
Contd Table 3

Morfortípus (1)	A mért fitolitok száma (2)					Átlag szélesség (3)	SD	Min	Max	Átlag hosszúság (4)	SD	Min	Max	Átlag magasság (5)	SD	Min	Max
	1	2	3	4	5												
Rt reniform	1					7,3				9,9							
Tabular	14	6	7	10	13	6,7	3,2	2,2	17,4	8,7	3,9	3,8	23,0				
Trichome	7	7	5	2	2	11,9	7,5	2,0	32,2								
Papilla	2	10	4	1	2	4,1	1,8	2,1	8,9								
Paralell, B,	2	7	3	0	2	10,3	6,8	2,8	23,0	17,0	10,4	4,5	39,8				
Cuneiform B,	1	3	3	2	2	11,5	5,2	5,8	24,2	14,7	8,1	6,0	25,4				
Trigonal pyramid	1	1	3		2	3,3	1,1	1,9	5,1	3,1	1,0	2,2	4,8				
Cubic		2	1			3,5	1,8	2,0	5,6								
Stellate	2			1	1	8,8	2,7	7,4	12,9								

BLINNIKOV (2005) *P. sandbergii* hajtásokban. MORRIS et al. (2009) megemlítik, hogy a megnyúlt formák között gyakori az egyenlő oldalú, ami hasonló a mi eredményeinkhez. Alacsonyabb számban figyelhetünk meg horned (2,0%) és keeled (3,4%) rondelt, mint MORRIS et al. (2009) tettek. Ők leírják, hogy a *P. pratensis* a többi fű közül a magas horned (23%) és keeled (19%) rondel aránnyal tűnik ki. Nem meglepő, hogy eredményeink eltérést mutatnak más szerzők által leírt *Poa* sp. vagy *P. pratensis* fitolitkészletétől, hiszen a mi vizsgálatunk is egyedi különbségeket jelez.

A kovatestek alakja igen változatos a *Poaceae* családban, a dumbbell (súlyzó) és a cross (kereszt) alakoktól a kettő közötti átmeneteken át a horizontálisan megnyúlt alakokig, amelyek sima vagy hullámos falúak, és gyakori a saddle (nyereg) és a conical (kúp) alak is, más egyéb kovatest formák mellett (METCALFE 1960, PONZI és PIZZOLONGO 2003, PRYCHID et al. 2004). Említésre méltó, hogy kereszt alakú és nyereg alakú kovatesteket egyáltalán nem találtunk a vizsgált *P. pratensis* hajtásokban, hasonlóan BROWN eredményeihez (1984b). Csak néhány serte (egysejtű szőr) és különösen ezeknek a csúcsa volt megfigyelhető, mert a hosszú, soksejtű trichómák nem jellemzőek erre a fajra (METCALFE 1960). Azonban az szintén igaz, hogy a szilícium tartalom magasabb a serték csúcsában, mint az alapjánál, így a serték csúcsa nagyobb valószínűséggel marad épen a hamuban.

A bulliform sejtek gyakorisága alacsony volt, faluk vékonyabb és minden bizonnyal alacsonyabb szilícium tartalmú, ezért kevésbé maradandó, mint a többi epidermisz sejté. Ez a különbség valószínűleg a bulliform sejtek funkciójával magyarázható. A bulliform sejtek lumene a sejtfal rugalmassága révén száraz feltételek között vesztit térfogatából és a levél csövé záródik az adaxiális epidermisz rövidülése miatt, amely a párologtatás és a további vízvesztés ellen hat (ABERNETHY et al. 1998, NAWAZISH et al. 2006). Hasonlóan MORRIS et al. (2009) eredményeihez, csupán néhány bulliform, bilobate és papilla volt megtalálható, bár utóbbi szerzők csupán 119 fitolitot vizsgáltak a mi 2244 fitolit mintaszámunkkal szemben.

Két fitolit típust újként írtunk le *P. pratensis* levelekből. Ezek az ICPN szabályai szerint a következők:

(i) elongate, depressed, contorted típus, amely szalag alakú. Átlagos hossza 19,8 μm , átlagszélessége 1,9 μm és három egyedben volt jelen.

(ii) trigonal pyramid, trigonális piramis alak, mérete 3,3–3,1 μm között változik, és az öt egyedből négyben megtaláltuk.

Ezen kívül, bizonyos fitolit alakok nagy gyakorisága miatt egy új fitolit-csoport elnevezést vezettünk be: „elongate unclassified group”, amely magában foglalja a jól körülrható alakokkal nem rendelkező hosszú sejteket. A korrodált formák rávilágítanak, hogy a protokoll során használt savak kikezdehetik a kovatesteket és a szilifikált sejtfalakat.

Összegezve a morfortípus gyakoriságokra vonatkozó eredményeinket, hasonlóan BROWN (1984a) megfigyeléséhez, interspecifikus variációk is léteznek. Nem minden alak, amely egyébként jellemző a fajra, van feltétlenül jelen minden példányban. A növényfajok közötti genetikai variáció, a geográfiai elhelyezkedés, és az élőhelyi jellemzők mind interspecifikus különbségeket okoz(hat)nak a fitolitkészletben (MULHOLLAND et al. 1988, 1990).

A taxonok közötti fitolit morfortípus különbségekkel kapcsolatos fenti példák bizonyítják a fitolit morfortípusok jelenlétének-hiányának taxonómiai értékét, de a helyes következtetések levonásához mindenkor ismernünk kell a fajra jellemző fitolitkészlet intraspecifikus variációit.

A harmadik szempontot tekintve, a különböző morfortípusok mérete is szignifikánsan különbözhet az egyedek között.

A *P. pratensis* levelek elongate morfortípusa az átlagosnál nagyobb méretű ($>20\ \mu\text{m}$; MERCADER et al. 2010). A rondel-trapeziform alakú rövid sejtek átlagos hossz (vagy átmérő – a kerekded alakoknál) értéke $4,9\text{--}13,0\ \mu\text{m}$ szélső értékek között változott, az átlagos szélesség $7,2\text{--}9,3\ \mu\text{m}$ volt. Ez rövidebb, mint a CARNELLI et al. (2004) által vizsgált fűfajok rövid sejt hossza, amelyek $15\ \mu\text{m}$ és $30\ \mu\text{m}$ szélső értékek között variáltak. BROWN (1984a,b) rámutatott, hogy közvetlen kapcsolat fedezhető fel a nedvességtartalom és a fitolitméret között. A méretek különböznek az egyes alcsaládok között is. PIPERNO és PEARSALL (1998) azt találta, hogy a panicoid füvek sok bilobate alakja eléri a $20\ \mu\text{m}$ -t, míg a *Bambusoideae*, *Chloridoideae*, és a *Pooideae* (a *Stipa* kivételével) majdnem kivétel nélkül ennél rövidebb bilobate alakokkal rendelkezik. PORTILLO et al. (2006) eredményei is hasonlóak a mienkhez, miszerint az *Avena sativa* L. és az *Avena strigosa* Schreb taxonok ugyanolyan fitolitkészlettel rendelkeznek, amelyek azonban méretben szignifikánsan különböznek.

A leggyakoribb morfortípusok összesen 17 hossz-, szélesség-, és magasság-adatsorát elemeztük, amelynek több, mint fele (10 adatsor) szignifikáns eltérést mutat. Az eredményeink azt mutatják, hogy azon esetben, ha fajok közötti eltérést vizsgálunk, a gyakoriság és a morfortípus mérettartományok adatain kívül mindezeknek fajon belüli varianciáját is érdemes megvizsgálni a helyes következtetések levonásához.

BROWN (1984a,b) és MULHOLLAND (1989) kiterjedt vizsgálatokat végzett Észak-amerikai füveken, és azt állapította meg, hogy bár a TWISS et al. (1969) által bevezetett hármas fitolit morfortípzálási kategóriarendszer alkalmazása megállja a helyét, vannak szignifikáns eltérések a várható mintázattól. Ugyanez bizonyosodott be trópusi pázsit-fűfajok esetén (PIPERNO és PEARSALL 1998). Ez a három részből álló felosztás a *P. pratensis* hajtások esetén is helytállónak bizonyul, mert a nyereg morfortípus gyakorisága (amely jellemző *Panicoideae* alcsaládban) és a bilobate morfortípus gyakorisága (amely jellemző *Chloridoideae* alcsaládban) alacsony a vizsgált fajnál. A rondel-trapeziform morfortípus gyakorisága viszont magas, amely jellemző a *Pooideae* alcsaládban. A *P. pratensis* elterjedése Európa, Ázsia és Észak-Amerika (MONSEN et al. 2004) nedves, hűvös területeire korlátozódik és a tanulmányozott egyedek is egyöntetűen nedves rétekről származnak. Azonban a mikrokozmosz faktoraival hatással vannak a fitolit morfortípusok gyakoriságára és a méretekre. Továbbá nem zárhatjuk ki, hogy a növényegyedek mintázott levelei az azonos pozíció ellenére nem azonos korúak, különböző mennyiségű szilifikálódott sejtrel. A növények kora tehát hatással van az egyeden belüli és az egyedek közötti fitolit varianciára is (HODSON et al. 1985).

A fitolitok és a szilifikált sejtfalak ultrastruktúrájának vizsgálata nehézségekbe ütközik, mert a protokoll különböző melléktermékekhez vezethet, amelyről nem dönthető el, hogy az élő sejtben képződött-e. A kis méretű, ($1\text{--}3\ \mu\text{m}$), négyzet alakú tabular-ok, amelyeket a réti perje hajtásokban megfigyeltünk, lehetnek az ultrastruktúra részei, amelyről WILDING et al. (1977) is beszámolnak, illetve lehetnek melléktermékek is. Ezeket számos, vékonyabb falú megnyúlt sejtben, és rondelben is megfigyelhettük, csakúgy, mint a hamuban szabadon álló apró fitolitként, a sejtéből kiszabadulva.

Vizsgálatunk nem csak jellemzi a réti perje fitolitkészletét, de felhívja a figyelmet a jelentős egyedi fitolit morfortípus gyakoriság- és méret varianciára is, ugyanakkor felhasználható információkat szolgáltat a növényrendszertan és a növényföldrajz számára.

IRODALOM – REFERENCES

- ABERNETHY, G. A., FOUNTAIN, D. W., McMANUS M. T. 1998: Observations on the leaf anatomy of *Festuca novae-zelandiae* and biochemical responses to a water deficit. *New Zealand Journal of Botany* 36(1): 113–123.
- ABRAMOFF, M. D., MAGALHAES, P. J., RAM, S. J., 2004: “Image Processing with Image J”. *Biophotonics International* 11(7): 36–42.
- AGARIE, S., AGATA, W., UCHIDA, H., KUBOTA, F., KAUFMAN, P. 1996: Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza sativa* L.): Testing the window hypothesis. *Journal of Experimental Botany* 47: 655–660.
- ALBERT, R. M., WEINER, S. 2001: Study of opal phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach. In: *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History* (Eds: MEUNIER, J., COLINE, F.). Balkema, Lisse, pp. 251–266.
- ALBERT, R. M., ESTEVE, X., PORTILLO, M., RODRIGUEZ-CINTAS, A., CABANES, D., ESTEBAN, I., HERNANDEZ, F. (Novembre 22, 2011): Phytolith CoRE, Phytolith reference collection. Retrieved Jul. 20, 2012, from http://www.gepeg.org/enter_PCORE.html.
- BARCZI A., JOÓ K., PETŐ Á., BUCSI T. 2006: Survey of the buried palaeosol under Lyukas–mound. *Eurasian Soil Science* 39(Suppl. 1): 133–140.
- BARCZI A., GOLYEVA A. A., PETŐ Á. 2009: Paleoenvironmental reconstruction of Hungarian kurgans on the basis of the examination of paleosols and phytolith analysis. *Quaternary International* 193(1–2): 49–60.
- BLACKMAN, E., PARRY, D. W. 1968: Opaline silica bodies in the range grasses of southern Alberta. *Canadian Journal of Botany* 49: 769–781.
- BLINNIKOV, M. S., BAGENT C. M., REYERSON, P. E. 2013: Phytolith assemblages and opal concentrations from modern soils differentiate temperate grasslands of controlled composition on experimental plots at Cedar Creek, Minnesota. *Quaternary International* 287: 101–113.
- BLINNIKOV, M. S., GAGLIOTI, B. V., WALKER D. A., WOOLLER, M. J., ZAZULA, G. D. 2011: Pleistocene graminoid-dominated ecosystems in the Arctic. *Quaternary Science Reviews* 30: 2906–2929.
- BLINNIKOV, M. S. 2005: Phytoliths in plants and soils of the interior Pacific Northwest, USA. *Review of Palaeobotany and Palynology* 135: 71–98.
- BROWN, D. A. 1984a: Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the Central United States. *Journal of Archaeological Science* 11: 221–243.
- BROWN, D. A. 1984b: Prospects and Limits of a Phytolith Key for Grasses in the Central United States. *Journal of Archaeological Science* 11: 345–368.
- CARNELLI, A. L., THEURILLAT, J-P., MADELLA, M. 2004: Phytolith types and type-frequencies in subalpine–alpine plant species of the European Alps. *Review of Palaeobotany and Palynology* 129: 39– 65.
- CLAYTON, W. D., RENVOIZE, S. A. 1986: *Genera Graminum: Grasses of the World*. Kew Bulletin Additional Series XIII. Royal Botanic Gardens, London.
- ENGEL-DI MAURO, S. 1995: Constructing the palaeovegetational record for the buried soils in the Hungarian young loess sequence: A view from phytolith analysis. In: *Concept of loess, loess-paleosol stratigraphy* (Eds.: PÉCSI, M., SCHWEITZER, F.). LoessinForm 3. Budapest: Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences pp. 79–94.
- GOLDBLATT, P., HENRICH, J. E., RUDALL, P. 1984: Occurrence of crystals in *Iridaceae* and allied families and their phylogenetic significance. *Annual Missouri Botanical Garden* 71: 1013–1020.
- GYULAI, F. 1993: *Environment and Agriculture in Bronze Age Hungary*. Archaeolingua, Budapest, 59 pp.
- GYULAI F. 1996: Balatonmagyaród–Hídvégpuszta késő bronzkori település növényletei és élelmiszermaradványai (Die Pflanzenfunde und Lebensmittelreste aus der spätbronzezeitlichen Siedlung von Balatonmagyaród–Hídvégpuszta). *Zalai Múzeumok* 6: 169–195.
- HARTLEY, W. 1961: Studies on the origin, evolution, and distribution of the Gramineae. IV. The genus *Poa* L. *Australian Journal of Botany* 9: 152–161.
- HODSON, M. G., SANGSTER, A. G., PARRY, D. W. 1985: An ultrastructural study on the developmental phases and silification of the glumes of *Phalaris canariensis* L. *Annals of Botany* 55: 649–665.
- HODSON, M. J., WILLIAMS, S. E., SANGSTER, A. G. 1997: Silica deposition in the needles of the Gymnosperms. I. Chemical analysis and light microscopy. In: *The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants* (Eds.: PINILLA, A., JUAN-TRESSERRAS, J., MACHADO, M. J.). Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC Monographias Monografias 4., pp. 135–146.

- HONAINÉ, M. F., OSTERRIETH, M. L. 2012: Silification of the adaxial epidermis of leaves of panicoid grass in relation to leaf position and section and environmental conditions. *Plant Biology* 14(4): 596–604.
- JUGGINS, S. 2007: C2 Version 1.5 User guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK, p. 73.
- LINDSTROM, L. I., BOO, B. M., MUJICA, M. B., LUTZ, E. E. 2000: Silica bodies in perennial grasses of the southern District of the Calden in central Argentina. *Phyton – International Journal of Experimental Botany* 69: 127–135.
- MADELLA, M. 2007. The silica skeletons from the anthropic deposits. In: The Early Neolithic on the Great Hungarian Plain. Investigations of the Körös culture site of Ecsegfalva 23, County Békés. *Varia Archaeologica Hungarica XXI*, Volume I. (Ed.: WHITTLE, A). Publicationes Instituti Archaeologici Academiae Scientiarum Hungaricae Budapestini, pp. 447–460.
- MADELLA, M., ALEXANDRE, A., BALL, T. 2005: International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany* 96(2): 253–260.
- MADELLA, M., LANCELOTTI, C., OSTERRIETH, M. (Eds.) 2012: Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary research. *Quaternary International* 287: 180.
- MEJIA-SAULES, T., BISBY, F. A. 2003: Silica bodies and hooked papillae in lemmas of *Melica* species (Gramineae: Pooideae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 141(4): 447–463.
- MERCADER, J., ASTUDILLO, F., BARKWORTH, M., BENNETT, T., ESSELMONT, C., KINYANJUI, R., GROSSMAN, D. L., SIMPSON, S., WALDE, D. 2010: *Poaceae* phytoliths from Niassa Rift, Mozambique. *Journal of Archaeological Science* 37: 1953–1967.
- MERCADER, J., BENNETT, T., ESSELMONT, C., SIMPSON, S., WALDE, D. 2009: Phytoliths in woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. *Annals of Botany* 104(1): 91–113.
- METCALFE, C. R. 1960: *Anatomy of the Monocotyledons I. Gramineae*. Oxford at the Clarendon Press, p. 731.
- MONSEN, S. B., STEVENS, R., SHAW, N. L. 2004: Restoring Western Ranges and Wildlands. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report. *RMRS GTR* 136(2): 295–698.
- MORRIS, L. R., BAKER, F. A., MORRIS, C., RYEL, R. J. 2009: Phytolith types and type-frequencies in native and introduced species of the sagebrush steppe and pinyon-juniper woodlands of the Great Basin, USA. *Review of Palaeobotany and Palynology* 157(3–4): 339.
- MULHOLLAND, S. C. 1989: Phytolith shape frequencies in North Dakota Grasses: A comparison to general patterns. *Journal of Archaeological Science* 16: 489–511.
- MULHOLLAND, S. C., RAPP, G., OLLENDORF, A. L. 1988: Variation in phytoliths from corn leaves. *Canadian Journal of Botany* 66: 2001–2008.
- MULHOLLAND, S. C., RAPP, G., OLLENDORF, A. L., REGAL R. 1990: Variation in phytoliths within a population of corn (Mandan Yellow Flour). *Canadian Journal of Botany* 68: 1638–1645.
- NAWAZISH, S., HAMEED, M., NAURIN, S. 2006: Leaf anatomical adaptations of *Cenchrus ciliaris* L. from the Salt Range, Pakistan against drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 38(5): 1723–1730.
- PELEG, Z., SARANGA, Y., FAHIMA, T., AHARONI, A., ELBAUM, R. 2010: Genetic control over silica deposition in wheat awns. *Physiologia Plantarum* 140(1): 10–20.
- PERSAITS G. 2010: A fitolitok szerepe a geoarchaeológiai minták értékelésében. Doktori Értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Földtudományok Doktori Iskola, Szeged, p. 147.
- PERSAITS G., SÜMEGI P. 2011: A fitolitok szerepe a régészeti geológiai és környezettörténeti minták értékelésében. *Geoszférák 2010* (szerk.: UNGER J., PÁL-MOLNÁR E.). A Szegedi Egyetem Földtudományi Doktori Iskola és a Környezettudományi Doktori Iskola eredményei. GeoLitera, Szeged, pp. 307–354.
- PETŐ Á. 2009: A növényi opálszemcsék kutatásának rövid tudománytörténeti áttekintése a felfedezéstől napjainkig. *Tájökológiai Lapok* 7 (1): 39–63.
- PETŐ Á. 2010. A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolitprofiljának katasztere. Doktori Értekezés, Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő, p. 222.
- PETŐ Á. 2011. Hazai talajszelvények fitolit morfológiájának diverzitása. *Agrokémia és Talajtan* 60(1): 45–64.
- PETŐ, Á. 2013. Studying modern soil profiles of different landscape zones in Hungary: An attempt to establish a soil-phytolith identification key. *Quaternary International* 287: 149–161.
- PETŐ Á., BARCZI A. 2010a: A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolitprofiljának katasztere I-II. Módszertani megfontolások, illetve a vizsgált váz- és közethatású talajok eredményei. *Tájökológiai Lapok* 8(1): 157–206.
- PETŐ Á., BARCZI A. 2010b: A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolitprofiljának katasztere III. A vizsgált barna erdőtalajok eredményei. *Tájökológiai Lapok* 8(3): 457–495.

- PETŐ Á., BARCZI A. 2011: A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolitprofiljának katasztere IV. A vizsgált csernozjom és szikes talajok eredményei. *Tájökológiai Lapok* 9(1): 147–190.
- PETŐ Á., BARCZI A. 2012: A Magyarországon előforduló meghatározó jelentőségű és gyakori talajtípusok fitolitprofiljának katasztere V. A vizsgált réti és öntéstalajok eredményei, *Tájökológiai Lapok* 10(1): 87–114.
- PIPERNO, D. R., PEARSALL, D. M. 1998: *The silica bodies of tropical american grasses: morphology, taxonomy, and implications for grass systematics and fossil phytolith identification*. Smithsonian Contributions to Botany, Number 85. Smithsonian Institution Press, Washington.
- PONZI, R., PIZZOLONGO, P. 2003: Morphology and distribution of epidermal phytoliths in *Triticum aestivum* L. *Plant Biosystems* 137(1): 3–10.
- PORTILLO, M., BALL, T., MANWARING, J. 2006: Morphometric analysis of inflorescence phytoliths produced by *Avena sativa* L. and *Avena strigosa* Schreb. *Economic Botany* 60(2): 121–129.
- PRYCHID, C. J., RUDALL, P. J., GREGORY, M. 2004: Systematics and biology of silica bodies in 999 Monocotyledons. *The Botanical Review* 69(4): 377–440.
- RUDALL, P. J. 1994: Anatomy and systematic of Iridaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 114: 1–21.
- ROVNER, I., RUSS, J. C. 1992: Darwin and design in phytolith systematics: Morphometric methods for mitigating redundancy. In: *Phytolith Systematics: Emerging Issues* (Eds.: MULHOLLAND, S. C., RAPP, G. R.). Plenum Press, New York, pp. 253–276.
- SANGSTER, A. G., WILLIAMS, S. E. HODSON, M. J. 1997: Silica deposition in the needles of the Gymnosperms. II Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. In: *The state-of-the-art of phytoliths in soils and plants* (Eds.: PINILLA A., JUAN-TRESSERRAS, J., MACHADO, M. J.). Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC Monografías 4: 135–146.
- STARNINI, E., SZAKMÁNY, GY., MADELLA, M. 2007: Archaeometry of the first pottery production in the Carpathian Basin: Result from two years of research. Atti del IV. Congresso Nazionale AIAR. Pisa, 1–3 febbraio 2006, Estratto, pp. 401–411.
- SZABÓ, K., ZS., PAPP, M., DARÓCZI, L. 2006: Ligule morphology and anatomy of five *Poa* species. *Acta Biologica Cracoviensia* 48(2): 83–88.
- TUTIN, T. G., HEYWOOD, V. H., BURGESS, N. A., MOORE, D. M., VALENTINE, D. H., WALTERS, S. M., WEBB, D. A. 1980: *Flora Europaea*. Volume 5. Cambridge University Press, pp. 159–162.
- TWISS, P. C., SUESS, E., SMITH, R. M. 1969: Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science Society of America Proceedings* 33: 109–115.
- WILDING, L. P., SMECK, N. E., DREES, L. R. 1977: Silica in soils: Quartz, cristobalite, tridymite and opal. In *Minerals in soil environments*. Soil Science Society of America, Madison, pp. 471–552.
- YOST, C. L., BLINNIKOV, M. S. 2011: Locally diagnostic phytoliths of wild rice (*Zizania palustris* L.) from Minnesota, USA: comparison to other wetland grasses and usefulness for archaeobotany and paleoecological reconstructions. *Journal of Archaeological Science* 38: 1977–1991.
- WINDLAND, P. 2007. Phytoliths of the Kiri-tó. In: The Early Neolithic on the Great Hungarian Plain. Investigations of the Körös culture site of Ecsegfalva 23, County Békés. *Varia Archaeologica Hungarica XXI*, Volume I. (Ed.: WHITTLE, A.). Publicationes Instituti Archaeologici Academiae Scientiarum Hungaricae Budapestini, pp. 99–107.

INDIVIDUAL VARIANCE IN PHYTOLITH ASSEMBLAGE OF GRASS LEAVES:
AN EXAMPLE OF *POA PRATENSIS* L. (*POACEAE*)

Zs. Lisztes-Szabó^{1,*}, Sz. Kovács¹, Cs. Barna¹ and Á. Pető²

¹Department of Agricultural Botany and Crop Physiology,
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, University of Debrecen,
Böszörményi út 138., Debrecen H-4032, Hungary; *szabozs@agr.unideb.hu
²Hungarian National Museum, National Heritage Protection Centre,
Laboratory for Applied Research, Daróci út 3., Budapest, H-1113, Hungary

Accepted: 27 September 2013

Keywords: phytolith, *Poa pratensis*, biogenic silica, silica bodies, epidermis

Phytoliths of *Poa pratensis* L. (*Poaceae*) leaf blades and sheaths are described in this study. The role of plant opal particles – known as phytoliths – is considerable in taxonomical studies and their long term preservation in sediments makes them an useful tool in the reconstruction of ancient plant communities and plant-human interactions. 2244 phytoliths were counted and analysed in 25 plant samples (5 shoots of 5 specimen, and app. 500-600 phytoliths per specimen). The biogenic silica content of *P. pratensis* leaves was determined to be 2.61%. 27 morphotypes have been described using the International Code for Phytolith Nomenclature and other sources. Two morphotypes were described first in this study.

Long cells and short cells are present in high frequency values in this species. Based on the experimental data the proportion of elongate morphotypes varied between 44.1%–76.6%, which can be accepted as a large individual variability within the same species. The most frequent elongate morphotypes were the psilate, sinuate and the so called ‘unclassified’, which latter could not be classified into any exact categories. The highest diversity of elongate morphotypes were found in specimen No. 5. This implies eight types that have eight different ornaments. The examination of specimen No. 2 resulted in the identification of the least morphotypes, only four of these were detected. According to the results the frequency of the rondel-trapeziform morphotype varied between 9.3%–46.1%. The elongated and rounded morphotypes were found to be the most frequent morphotypes in four specimens out of the examined five. The pyramidal and keeled morphotypes were among the three most frequent phytoliths, too. The highest diversity of rondel-trapeziform morphotype was found in specimen No. 1, which contained all the six morphotypes. Specimens No. 2 and 5 yielded the least, only four morphotypes.

The sizes of the different morphotypes may be significantly different among the individual specimens as it was observed in this study. Analysing the most frequent types, elongate unclassified and elongate sinuate morphotypes had significant differences in width and length among the *P. pratensis* specimen, but elongate psilate cells differ only in width, whilst the length of them did not vary significantly. Width of rondel-trapeziform elongated, keeled, rounded and horned types differ from each other significantly among the specimen, but the length and the height data did not, except of the height of elongate one. Significant differences were not found among rondel-trapeziform pyramidal phytoliths.

Differences in frequency and significant differences in a few simple size data (length, width, height) of long cells and short cells were found among specimen that suggests that these features vary depending on environmental factors and maturity of leaves tissues.

